



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 1991

Zur Neurologie in der Veterinärmedizin

Heckmann, Rudolf

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-123527>

Journal Article

Published Version

Originally published at:

Heckmann, Rudolf (1991). Zur Neurologie in der Veterinärmedizin. Swiss Vet, 13(5):7-14.

Separatdruck aus SWISS VET 13 (1991) Nr. 5, 7–14

SWISS VET

Schweizerische Zeitschrift für Veterinärmedizin
Revue suisse de médecine vétérinaire
Rivista svizzera di medicina veterinaria
Swiss Review for Veterinary Medicine
Revista suiza de medicina veterinaria

Zur Neurologie in der Veterinärmedizin

*Dr. med., PD Dr. med. vet. Rudolf Heckmann, Universität Zürich,
Veterinär-Chirurgische Klinik (Direktion Prof. Dr. J. A. Auer),
Winterthurerstr. 260, CH-8057 Zürich*

Zur Neurologie in der Veterinärmedizin

Dr. med., PD Dr. med. vet. Rudolf Heckmann, Universität Zürich, Veterinär-Chirurgische Klinik (Direktion Prof. Dr. J. A. Auer), Winterthurerstr. 260, CH-8057 Zürich*

Es werden einige ausgewählte, wichtige Schritte aus der Geschichte der Veterinärneurologie erörtert. Der lange Weg wird beschrieben, der endlich dazu führte, dass die Medizin eine naturwissenschaftliche Basis fand. Weiter wird die heutige Situation der klinischen Veterinärneurologie skizziert, die klinische Neurophysiologie vorgestellt und an einem Beispiel — nämlich am Magnetstimulationsverfahren — über die eigene wissenschaftliche Tätigkeit berichtet. Schliesslich werden einige Gedanken zur Problematik des Tierversuches und zum wissenschaftlichen Arbeiten geäussert.

Der historische Werdegang der Veterinärneurologie

Die Neurologie ist das medizinische Fach, das sich mit Krankheiten des Nervensystems und der Muskulatur befasst. Einzelne Hinweise auf solche Erkrankungen beim Tier lassen sich bis in die altägyptische Medizin zurückverfolgen; der älteste erhaltene Papyrus, der sogenannte *Kahun Papyrus*, der etwa um 2000 v. Chr. geschrieben wurde, beinhaltet nämlich entsprechende veterinärmedizinische Mitteilungen [1]. Die Funktionen des Nervensystems blieben aber im wesentlichen während Jahrhunderten im dunkeln, neurologische Symptome unverstanden und mysteriös. *Galen* (131–201 n. Chr.) vermutete als erster, dass das *Gehirn* Sitz von Intelligenz, Gedanken und Einfällen sei, und er begriff aufgrund von Tierversuchen, dass das Zentralnervensystem zuständig für sensorische Perception und motorische Leistungen sei. Galen hatte neugeborenen Schweinen das Rückenmark durchtrennt und festgestellt, dass deren Gliedmassen danach empfindungslos und gelähmt waren. Seine Erkenntnisse vermochten jedoch die offizielle Lehrmeinung, die sich teilweise bis ins 16./17. Jahrhundert halten konnte, kaum zu ändern. Danach fasste man das Herz als Zentralorgan und die Blutgefässe als Verbindungsbahnen auf, über die Sensibilität und Bewegung vermittelt würden. Im Gehirn sah man le-

diglich eine Drüse, die das Phlegma in Hypophyse und Nase sezernierte. Erst im 19. Jahrhundert wurde es möglich, eine rationale, also moderne Neurologie und Neuropathologie zu begründen.

Als einer ihrer Vorläufer wird *Wepfer* genannt, der 1681 in Schaffhausen eine Medizinschule gründete. Er war besonders an Erkrankungen des Nervensystems, auch des Nervensystems bei Tieren, interessiert. Allerdings wurden damals Symptome wie Verhaltensstörungen, epileptische Anfälle, Störungen des Bewegungsablaufs und Lähmungen noch nicht klar genug als Ausdruck von Schädigungen des Nervensystems verstanden.

Mit der zunehmenden Bedeutung der *Histopathologie* und der *Mikrobiologie* erfuhr die pathologische Makroanatomie eine Renaissance. Die ersten fundierten Arbeiten auf dem Gebiet der vergleichenden Neurologie und Neuropathologie datieren aus dem letzten Drittel des 19. Jahrhunderts. Sie sind zum Teil das Resultat vergleichender Untersuchungen von Humanneurologen wie *Burdach*, *Edinger*, von *Monakow* und anderen. Obwohl exakte Ergebnisse über Makro- und Mikrostruktur des Gehirns und Rückenmarks durch Untersuchungen an Tieren gewonnen wurden, blieb das zusammengetragene Wissen bei den Humanmedizinern und kam der Veterinärmedizin kaum zugute. Es diente vorwiegend als Grundlage der Hirnforschung, die selbstverständlich nicht das Ziel verfolgte, eine klinische Tierneurologie zu entwickeln. Die Tatsache, dass sich ein grosser Wis-

sensschatz über Struktur und Funktion nervöser Einrichtungen von Tieren in der *Hirnforschung* angesammelt hatte und zunächst von der Tiermedizin ungefragt liegenblieb, mag erstaunen. Man muss dabei bedenken, dass die Bedeutung einzelner Fachgebiete — und damit auch Ausbildung, Aufgabenbereich und Wirkungsfeld des Tierarztes — wesentlich Ausdruck des gesellschaftlichen Standpunktes und damit stets an wirtschaftliche und politische Überlegungen gebunden ist. Die Veterinärmedizin war stark auf die Nutztiere ausgerichtet. Daraus resultierte als veterinärische Hauptaufgabe die Seuchenbekämpfung und eine entsprechende Betonung der Wirtschaftlichkeit, ein Kosten-Nutzen-Denken, das natürlich Einschränkungen klinisch-diagnostischer Möglichkeiten zur Folge hatte. Spezialgebiete wie das neurologische Fach konnten sich entweder nicht oder doch erst dann etablieren, als die «Begleittier-Medizin» an Bedeutung gewann.

Ob vorhandenes Wissen als interessant erkannt wird oder nicht, aktuell bleibt oder vergessen geht, hängt aber zudem auch von Persönlichkeiten ab, die die Intelligenz und den Mut haben, den vertrauten Raum des Gewohnten und Anerkannten zu verlassen. So war die Anatomie des Menschen seit Galen bis ins Spätmittelalter in vielem buchstäblich eine «Schweine-Anatomie» — verständlicherweise, da wegen des Obduktionsverbots menschlicher Leichen als Ersatz die Anatomie des Schweins studiert wurde. Sie blieb es aber noch über die lange Zeit von etwa 200 Jahren, als nach dem 13. Jahrhundert die *Sektion* erlaubt war und durchgeführt wurde, da Galens Autorität und die tradierten Beschreibungen und Auffassungen die Beobachtung am Präparat behinderten. Ähnliche Beispiele lassen sich unschwer finden: Man denke an die *Mendelschen Erbsetze*, deren Tragweite erst mit fünfzigjähriger Verspätung erkannt wurde, oder an den Aufruhr, den die *Evolutionstheorie Darwins* ausgelöst hat. Man ist ge-

* Antrittsrede an der Veterinär-medizinischen Fakultät der Universität Zürich, Aula Universität-Zentrum, Zürich, 16. Juni 1990

neigt, solche Befangenheit zu belächeln. Zur Überheblichkeit besteht indessen kein Anlass, denn man darf annehmen, dass sich in dieser Sache nichts Grundsätzliches, sondern nur die Dimension geändert hat. Aus der mikroskopischen Anatomie berichtet *Sir Andrew Huxley* in seiner Schrift «Reflections on Muscle» 1980 [2] im ersten Kapitel «An Example of Negative Progress», dass Wissen, das innerhalb eines akzeptierten theoretischen Rahmens ungenügend integriert ist, nicht nur ungenutzt bleiben, sondern auch verlorengehen kann. Ende des 19. und zu Beginn dieses Jahrhunderts wurde eine Reihe wichtiger lichtmikroskopischer Beobachtungen an Muskel- und Nervenfasern gemacht und deren Funktionsbedeutung richtig erkannt. Gestützt darauf wurden Vorstellungen über die Erregungsleitung der Nervenfasern und die Rolle der Natriumionen für die Muskelkontraktion entwickelt. Doch die gemachten Entdeckungen und Erkenntnisse gingen verloren. Teils wurden sie durch scheinbar plausible Argumente verworfen, andere mit dem Hinweis abgetan, es handle sich beim Beobachten um Artefakte, und einige wurden gar nicht zur Kenntnis genommen. Erst rund 50 Jahre später wurden die gleichen Entdeckungen mit dem Elektronenmikroskop erneut gemacht und durch sie die früheren Erkenntnisse glänzend bestätigt. Ackerknecht [1] schreibt in seiner «Geschichte der Medizin»: «Die modernen Menschen sehen — ebenso wie die Menschen früherer Zeiten — nur das, was sie zu sehen bereit sind; um etwas grundsätzlich Neues zu sehen, ist immer ein neuer Standpunkt erforderlich.» Einen neuen Standpunkt in der Geschichte der Tierneurologie nahm *Hermann Dexler* ein. Dexler, der von 1866 bis 1931 gelebt hat, war eine grosse Forscherpersönlichkeit und gilt als eigentlicher *Begründer der Tierneurologie*. Er war Professor für Tierseuchenlehre und Veterinärpolizei an der Deutschen Universität in Prag. Zeit lebenslang hat er als vergleichender Wissenschaftler auf dem Gebiet des Nervensystems, der Nervenkrankheiten, der Tierpsychologie und der Psychopathologie geforscht [3]. Vor seiner Prager Zeit war Dexler an der tierärztlichen Hochschule Wien beschäftigt und arbeitete neben seinen dortigen Verpflichtungen am Hirnforschungsinstitut unter Obersteiner, wo er seine profunden Neurologiekenntnisse erwarb. Dexler hat vor mehr als 100 Jahren über Kompressionserscheinungen des Rückenmarks beim Hund berichtet und dabei die Dakkellähmung als Folge einer Zwischenwirbelscheibenerkrankung gedeutet. Auf dem Gebiet der Bandscheibenerkrankungen war die Veterinärneuropathologie der humanen durch seine Arbeiten

um Jahre voraus. Dexlers Buch «Die Nervenkrankheiten des Pferdes» von 1899 [4] gilt als Klassiker, an dem sich — wie Fankhauser und Vandeveld [5] meinen — die Kapitel «Nervensystem» auch neuerer Bücher oft nicht zu deren Vorteil messen lassen.

An der *Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität in Bern* begann in den dreissiger Jahren die fruchtbare Zusammenarbeit von Frauchiger und Hofmann. Frauchiger betrieb als Humanmediziner neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit eine ärztliche Praxis in Langenthal [6], Hofmann war Tierarzt und Leiter der Veterinär-Ambulatorischen Klinik in Bern [7]. Später setzten Frauchiger und Fankhauser ihre Arbeiten auf dem Gebiet der vergleichenden Neuroanatomie und -pathologie fort und legten so das Fundament dafür, dass heute in Bern unter Vandevelds Leitung das Institut für Tierneurologie der Universität Bern (Direktion Prof. Dr. M. Vandeveld) arbeiten kann, dessen fachliche Kompetenz weltweit Anerkennung genießt.

1941 erschien von Frauchiger und Hofmann das Buch «Die Nervenkrankheiten des Rindes» [8]. Frauchigers und Fankhausers «Vergleichende Neuropathologie des Menschen und der Tiere» 1957 [9] und «Comparative Neuropathology» [10] von Innes und Saunders 1962 zeugen vom umfangreichen Wissen, das sich bis zu Beginn der zweiten Jahrhunderthälfte angereichert hatte.

Veterinärneurologie heute

Heute ist die Situation so, dass, mit wenigen Ausnahmen — etwa Bern, Cambridge und Glasgow, die über eigene Institute verfügen —, eine klinische Veterinärneurologie an den Fakultäten in *Europa* als feste Einrichtung *nicht* existiert; das Fach wird jeweils von wenigen oder einzelnen Tierärzten und oft nebenamtlich betreut. Abgesehen davon, dass so der wünschbare Wissensstand in einem derart grossen Bereich kaum erreicht werden kann, führt dies auch dazu, dass erworbene Kenntnisse und Fähigkeiten durch personelle Änderungen der Klinik wieder verlorengehen. Ganz anders liegen die Verhältnisse in den *Vereinigten Staaten* und *Kanada*. Dort gilt die Tierneurologie als eigene Disziplin; an etwa zehn Universitätskliniken wird neben Dienstleistung auch Ausbildung und klinische Forschung betrieben [5].

Die Frage, ob die Einrichtung klinischer Spezialitäten wie zum Beispiel die Neurologie in der Veterinärmedizin sinnvoll und nützlich sei, muss man bei der hohen Inzidenz neurologischer Leiden und deren Bedeutung vor allem beim Kleintier sicher bejahen, um so mehr, wenn man bedenkt, dass sich etwa 90% der praktischen Tierärzte auch mit Kleintieren be-

fassen und über 30% der ausgebildeten Tierärzte ausschliesslich. Es sei in diesem Zusammenhang betont, dass es nicht darum geht, humanmedizinische Verhältnisse zu imitieren. Die veterinärmedizinische Klinik ist ja nicht eine etwas vereinfachte Kopie der Humanmedizin, auch wenn sie auf kurativem Sektor mit ihr Gemeinsamkeiten aufweist. Über Diagnostik und Therapie am Einzelpatienten hinaus ist sie stets in besonderem Masse *präventiv* orientiert, da sie über züchterische Massnahmen und Haltungsbedingungen Einfluss auf das Krankheitsgeschehen der Tiere zu nehmen versucht und teilweise auch nehmen kann.

Klinische Veterinärneurophysiologie in Zürich

An der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Zürich ist die Beschäftigung mit klinischer Neurologie eng mit der Einrichtung einer kleinen experimentellen Abteilung an der Veterinärchirurgischen Klinik verbunden. Diese Abteilung erhielt 1970 den Auftrag, Oberassistenten, Assistenten und Doktoranden bei ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit zu unterstützen und neurophysiologische Untersuchungsmethoden in der Klinik einzuführen. Da die Tiermedizin nur wenige klinische Spezialitäten entwickeln konnte — sie war und ist noch immer zu einem rechten Teil Nutztiermedizin —, sind die einzelnen Fachgebiete auch mit vielerlei Aufgaben betraut: Die Veterinärchirurgie umfasst in Zürich zum Beispiel auch die klinische Anästhesiologie, die Orthopädie und die Ophthalmologie. Beim Aufbau dieser Abteilung zeigte sich bald die Notwendigkeit, eigene, auf die besonderen Bedürfnisse der Tiermedizin und die vielfältigen Anwendungsbereiche abgestimmte Messeinrichtungen zu entwickeln und zu bauen und dafür Elektroingenieure zu beschäftigen, was dann auch durch die Zustimmung des Regierungsrates ermöglicht wurde. Diese Einrichtungen stehen heute im Einsatz. Sie dienen nicht nur der Neurophysiologie, sondern werden auch für Messungen auf den Gebieten Ophthalmologie, Orthopädie und Gynäkologie benutzt. In all diesen Bereichen ist in den letzten zwanzig Jahren zum Teil unter Leitung, zum Teil unter Mithilfe der Experimentellen Abteilung geforscht worden [11–17]. Besonders erwähnt sei die Anästhesiologie, die sich mit der Schmerzproblematik und Schmerzbekämpfung nicht nur beim Klinikpatienten befasst, sondern es stets als Auftrag verstand, Tieren Angst und Schmerzen zu ersparen. Es sind so Arbeiten zur Verbesserung der Betäubungsverfahren von Schlachttieren und der Nutztierhaltung entstanden, die einen wichtigen Beitrag zum Tierschutz darstellen.

Vor allem Erkrankungen des Zentralnervensystems, aber auch des peripheren Nervensystems und der Muskulatur spielen beim Kleintier eine wesentliche praktische Rolle. Um die dabei auftretenden diagnostischen Schwierigkeiten meistern zu können, muss der Tierarzt über ein solides Wissen in Neuroanatomie und Neuropathologie verfügen. Dieses und die Kenntnisse einzelner Krankheitsbilder, verbunden mit klinischer Erfahrung, befähigen ihn, über vernünftige differentialdiagnostische Überlegungen und wenn nötig gezielt eingesetzte weiterführende Massnahmen Symptome zu objektivieren und zu lokalisieren und zu Diagnose und Prognose zu kommen. Spezielle Untersuchungen, wie die neurophysiologischen Techniken, von denen im Folgenden die Rede sein soll, können dabei in manchen Fällen weiterhelfen und die oft enge Begrenzung der klinischen Diagnostik etwas ausweiten. Objektive Untersuchungsmethoden, durch die ein klinischer Verdacht durch Messung erhärtet oder entkräftet werden kann, sind in der Veterinärmedizin besonders gefragt, denn die Diagnosestellung beim Tier ist mit speziellen Problemen behaftet: Stets ist nämlich die Anamnese — die Krankheitsvorgeschichte — eine Fremdanamnese. Daneben erschweren fehlende Kommunikation und Kooperation den Untersuchungsgang und machen es oft unmöglich, bestimmte Befunde zu erheben. Auch stehen technisch aufwendige bildgebende Untersuchungsverfahren, wie zum Beispiel die Computertomographie oder das Magnetresonanzverfahren, in der Regel nicht zur Verfügung.

Als die Experimentelle Abteilung in Zürich 1970 ihre Arbeit aufnahm, bestand dort keine klinische Veterinärneurologie als Spezialgebiet, und elektrophysiologische Abklärungsmethoden waren in Europa nirgendwo bekannt. Für die Ausbildung in Elektrophysiologie wurden Kontakte zum Hirnforschungsinstitut und zur Humanneurologie in Zürich und Bern gesucht. Einige der so geknüpften Beziehungen blieben von Dauer; mehrere gemeinsame Publikationen sind aus ihnen hervorgegangen [18–22].

Wie arbeitet die klinische Neurophysiologie?

Die klinische Neurophysiologie — das ist die Ableitung und Aufzeichnung elektrischer Phänomene des Nervensystems (das heisst vom Gehirn, vom Rückenmark, von peripheren Nerven) und der Skelettmuskulatur — umfasst mehrere Techniken (Tab. 1):

- Als erstes ist die *Elektroenzephalographie (EEG)* zu erwähnen, das heisst die Ableitung von Hirnströmen,

Tab. 1: Klinische Neurophysiologie. Die Elektroenzephalographie, ergänzt durch die Techniken der evozierten Potentiale, dient der Diagnostik zentraler neurologischer Erkrankungen. Die Elektromyographie und Elektroneurographie werden in der Diagnostik peripher neurologischer Erkrankungen eingesetzt.

Untersuchungstechniken	Indikationsgebiete
EEG Elektroenzephalographie	Zentral neurologische Erkrankungen (Gehirn)
EMG Elektromyographie ENG Elektroneurographie	Peripher neurologische Erkrankungen (Nerv, Muskel)
EP Evozierte Potentiale	Zentral neurologische Erkrankungen (Hirn- und Rückenmarksbahnen)

- dann die *Elektromyographie (EMG)*, das heisst die Ableitung und Aufzeichnung elektrischer Potentiale aus dem Muskel,
- weiter die *Elektroneurographie (ENG)*, mit der man zum Beispiel über die Messung der Erregungsleitungsgeschwindigkeit periphere Nerven beurteilen kann, und schliesslich
- das Gebiet der *evozierten Potentiale (EP)*: dies sind Techniken, über die man Informationen über bestimmte Rückenmarks- und Gehirnbahnen gewinnt.

Die genannten Untersuchungen sind bei der Unterscheidung nervensystembedingter und muskulärer Lähmungen von Bedeutung. Sie dienen auch dazu, verschiedene Muskelerkrankungen zu diagnostizieren. Ferner kann man Störungen der Erregungsübertragung an der Nerv-Muskel-Verbindung eruieren. Weiter helfen sie, periphere Nervenkrankheiten zu objektivieren und zu lokalisieren und traumatische und degenerative Erkrankungen des zentralen Nervensystems zu erfassen.

In der Tiermedizin sind solche Untersuchungsmethoden seit Ende der sechziger Jahre zuerst zögernd, nach und nach an immer mehr Kliniken eingeführt worden, haben aber den festen Platz, den sie in der Humanmedizin einnehmen, kaum irgendwo erlangt. Ein Hauptgrund dafür ist sicher, dass der Aufwand für eine korrekte Untersuchung apparatemässig und zeitlich gross ist. Zudem sind diese Verfahren nur im Rahmen einer klinischen Neurologie wertvoll, wo fachlich ausgebildete und erfahrene Tierärzte tätig sind, was an vielen Tierkliniken Europas noch nicht der Fall ist.

Beispiel: Magnetstimulation

Als Beispiel soll das Magnetstimulationsverfahren vorgestellt werden. Es wurde in Zürich in enger Zusammenarbeit mit der Humanmedizin in der Tierklinik eingeführt, mit der Absicht, die diagnostischen Möglichkeiten des klinischen Neurologen zu bereichern.

1985 gelang es einer englischen Gruppe erstmals, mittels *elektromagnetischer Induktion* motorische Hirnrindenareale des Menschen durch den intakten Schädel hindurch zu reizen und Muskelzuckungen an Armen und Beinen hervorzurufen [23]. Schon 1980 gelang dies der gleichen Gruppe mit Hilfe sehr kurzer Hochspannungsreize [24]. Die *elektrische Reizung* ist aber, im Gegensatz zur magnetischen, schmerzhaft und deshalb für klinische Untersuchungen ungeeignet. Nach den Erfahrungen mit der Hochvoltstimulation war sofort klar, dass die Magnetstimulation diagnostisch wertvoll sein würde. Mit den nötigen Einrichtungen gelingt es nämlich verhältnismässig einfach, Hinweise über den Funktionszustand zentralmotorischer Bahnen zu gewinnen. Als erstes wurde deshalb in Zürich der Bau eines Magnetstimulators geplant. Es waren zwar bald käufliche Geräte im Handel, da das neue Verfahren aber für alle klinischen Neurophysiologen attraktiv war, hatte man mit langen Lieferzeiten zu rechnen, und zudem war die Leistung dieser Stimulatoren nicht sehr hoch. Das eigene Gerät wurde dann innert sehr kurzer Zeit von der Zürcher Gruppe selbst gebaut*; es dient Messungen am Menschen und am Tier.

Die Reizung erregbarer Strukturen des Gehirns, des Rückenmarks und peripherer Nerven erfolgt bei der Magnetstimulation durch induzierte elektrische Ströme im Gewebe. Das Prinzip der Magnetstimulation entspricht jenem des elektrischen Transformators ohne Eisenkern (Abb. 1). Ein Spannungsschoss von bis zu 3000 V aus einer Kondensatorbatterie auf die Primärwicklung — das ist die Stimulatorschule, die auf dem Gewebe aufliegt — führt zu einem Stromschoss in der Spule von einigen tausend Ampère. Die Spule hat einen mittleren Durchmesser von 4 bis 10 cm und besteht aus einer Flachspirale aus eng gewickeltem isoliertem Kupferlackdraht. Wegen der schlechten Koppelung gelangt nur ein geringer Teil dieser Energie ins Gewebe, das den Sekundärstromkreis bildet. Die

* Entwicklung und Bau H. P. Hogg

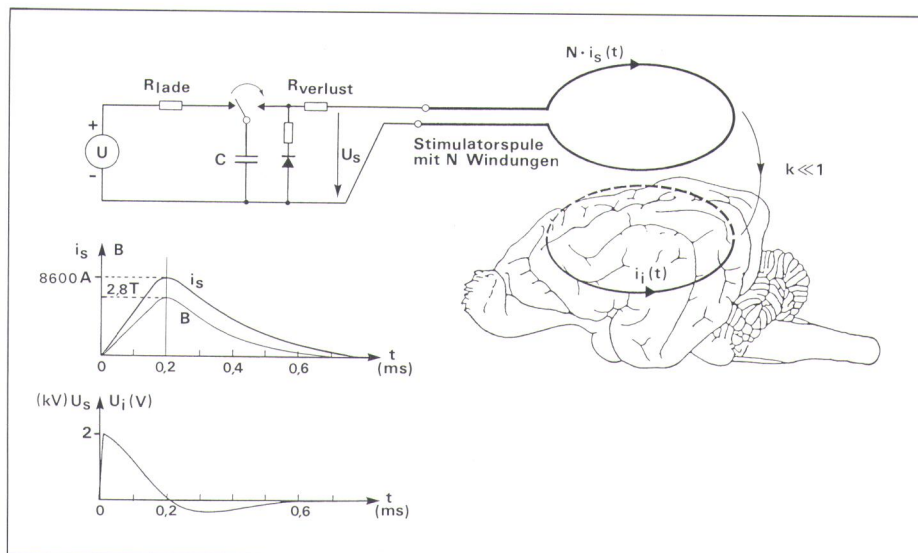


Abb. 1: Auf den Ordinaten sind der Spulenstrom i_s , die magnetische Induktion B , darunter die Spulenspannung U_s und die induzierte Gewebespannung U_i aufgetragen; die Abszisse ist die Zeitachse. Die Spulenspannung und die induzierte Gewebespannung haben den gleichen zeitlichen Verlauf, deren Spannungswerte jedoch eine ganz andere Größenordnung: Die Spulenspannung liegt im Kilovolt-, die induzierte Spannung im Voltbereich. Wegen der Selbstinduktion der Spule erreicht der Strom i_s erst nach $0,2 \text{ ms}$ sein Maximum und klingt, nachdem sich der Kondensator C entleert hat, inner $0,4$ bis $0,6 \text{ ms}$ ab. Für einen neuen Stromstoß muss der Kondensator wieder aufgeladen werden. Unterhalb der Spule rechts ist ein Hundehirn dargestellt und systematisch der induzierte Strom im Gewebe. Dieser Strom reizt motorische Ursprungszellen in der Hirnrinde. Die entstehenden Erregungen werden ins Rückenmark weitergeleitet, dort auf bestimmte Nervenzellen, sogenannte Alpha-Motoneurone, geschaltet, die ihrerseits die Erregung über periphere Nervenfasern auf die Skelettmuskeln übertragen. Links unten ist der zeitliche Verlauf der induzierten Spannung U_i dargestellt, wie sie über einem beliebigen Gewebeabschnitt im Bereich der induzierten Wirbelströme messbar ist.

Energieübertragung erfolgt durch das Magnetfeld, das durch den Spulenstrom generiert wird.

Die wachen Tiere liegen für die Untersuchung in einer Hängematte. Die Muskelantworten auf den Reiz – die Muskelsummenpotentiale – werden von einem Gliedmassenmuskel abgeleitet. Als Ableitelektrode wird ein Silberplättchen verwendet, das über dem Muskelbauch angebracht wird. Bezugselektrode ist eine feine Stahlnadel, die unter die Haut gesteckt wird. Für die Reizung motorischer Ursprungszellen in der Hirnrinde wird die Spule dicht auf den Schädel gelegt. Die Tiere zucken bei der Magnetstimulation zusammen, bedingt durch die Kontraktion der Skelettmuskulatur. Aus Selbstversuchen ist bekannt, dass diese Magnetstimulation schmerzlos ist. Die Reizung motorischer Zellen im Rückenmark erfolgt durch Auflegen der Spule im Halsbereich. Das Spulenzentrum liegt über dem ersten Halswirbel.

Mit der Magnetstimulationstechnik kann man einige Größen messen oder berechnen, die Aussagen über Integrität und Funktion motorischer Bahnen im Gehirn und im Rückenmark zulassen, über Einrichtungen also, die als Exekutive motorischer Leistungen fungieren. Nach Reizung der Hirnrinde erscheint im

Beispiel von Abbildung 2 das Muskelsummenpotential, das ist die elektrische Antwort auf den Reiz, nach einer Latenz von 22 ms . Diese Zeit beansprucht die Erregung von der Hirnrinde bis zum Muskel. Die untere Kurve von Abbil-

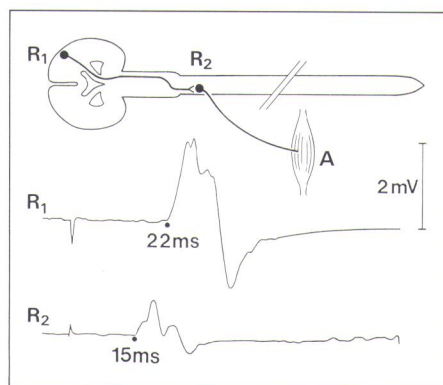


Abb. 2: Oben sind schematisch Gehirn und Rückenmark dargestellt. Eingetragen ist eine motorische Ursprungszelle, deren Fortsatz zum Rückenmark und die Schaltstelle im Halsbereich. Die Erregung wird hier auf Rückenmarksnervone – auf Alpha-Motoneurone – übertragen, die die Skelettmuskeln aktivieren. Oben (R_1): Muskelsummenpotential nach Kortexreizung; unten (R_2): Muskelsummenpotential nach Reizung im Halsbereich.

dung 2 stellt die elektrische Muskelantwort nach Reizung motorischer Ursprungszellen im Halsbereich des Rückenmarks dar. Die Latenz dieser Antwort, das heisst die Zeit zwischen Reizeinbruch und Muskelantwort, ist mit 15 ms kürzer als nach magnetischer Stimulation der Hirnrinde, da die Erregung eine kürzere Strecke bis zum Muskel zu durchlaufen hat. Durch Subtraktion der zweiten Latenz von der ersten erhält man einen Wert von 7 ms . Dieser Wert – die zentralmotorische Laufzeit – entspricht der Zeit, die die Erregung von der Grosshirnrinde bis zur Schaltung im Rückenmark braucht. Die zentralmotorische Laufzeit ist eine auf krankhafte Veränderungen bestimmter Gehirn-Rückenmarks-Bahnen empfindlich reagierende Grösse und deshalb diagnostisch interessant.

Auf gleiche Weise lässt sich die zentralmotorische Laufzeit zu den motorischen Ursprungszellen im Lendenbereich eruieren, indem man nach Reizung der Hirnrinde und nach Reizung des Rückenmarks im Lendenbereich von einem Muskel der Nachhand ableitet. Zusätzlich kann man auch die Erregungsgeschwindigkeit motorischer Rückenmarksbahnen zwischen Hals- und Lendenregion berechnen.

Seit der Einführung des beschriebenen Verfahrens liegen inzwischen viele Arbeiten vor, über die sich der diagnostische Wert für den Menschen abschätzen lässt. Im Gegensatz dazu bestehen beim Tier noch keinerlei klinische Erfahrungen. Neben der Brauchbarkeit für die Diagnostik, interessieren auch physikalischer Hintergrund und physiologische Vorgänge im Gehirn. Zudem bleiben Fragen der Patientensicherheit zu beantworten, nämlich ob die Magnetstimulation strukturelle oder funktionelle Schäden im Gehirn verursachen kann. Hierzu sind Untersuchungen am Tier besonders wertvoll.

Bei Magnetstimulationsuntersuchungen am Menschen hat sich gezeigt, dass Reizantworten der Arme leichter auszulösen sind als an den Beinen. Wahrscheinlich hat dies damit zu tun, dass das motorische Kortexareal für die Beinmuskeln über der Mantelkante im Gyrus praecentralis tiefer liegt und deshalb schwieriger zu reizen ist. Übrigens ist es eigentlich überraschend, dass die Strominduktion im Gehirn im wesentlichen nur zu motorischen Antworten führt. Vereinzelt sind allerdings auch sensorische Effekte durch kortikale Magnetstimulation beim Menschen evoziert worden. Natürlich wäre es wünschenswert, nicht nur motorische, sondern gezielt eng umschriebene Hirnrindenareale oder fokale tiefer liegende Hirnstrukturen reizen zu können. In einer Gemeinschaftsarbeit mit der Human-

medizin wurden deshalb verschiedene Spulengrößen und Spulenkonfigurationen bezüglich ihrer Reizwirksamkeit untersucht [13]. Es zeigte sich, dass Doppelspulen einfachen überlegen sind: Sie sind bei gleicher Energie, die vom Stimulator zur Verfügung steht, effizienter und erzeugen enger umschriebene Gewebebezirke. Mit Doppelspulen gelingt es deshalb leichter, die Beinmuskeln zu aktivieren. Um «die optimale Spule» zu finden und die grundsätzliche Frage nach Eindringtiefe und Fokalität beantworten zu können, wurde das induzierte Raumstromfeld in einem Gewebemodell bei verschiedenen Spulentypen und -anordnungen berechnet (Abb. 3).

Die Berechnungen haben folgendes ergeben:

- Die induzierten Ströme fließen in geschlossenen Kreisen, parallel zur Spulenoberfläche in gegenläufiger Richtung zum Spulenstrom.
- Das Stromfeld ist am dichtesten unter den Spulenwindungen und an der Körperoberfläche.
- Die Stromdichte fällt in Richtung Körpertiefe ungefähr quadratisch und in seitlicher Richtung etwa linear ab.
- Doppelspulen haben hohe Reizwirksamkeit: Die maximale Stromdichte wird erreicht, wo sich die beiden Spulenschkel berühren. Diese Stromdichte ist – bei gleicher Stimulatorenergie – grösser als bei der Einfach-Ring-Spule und auf ein enger umschriebenes Gebiet konzentriert.
- Mit keiner der untersuchten Spulentypen ist eine streng fokale Strominduktion möglich. Die Reizung tiefliegender Strukturen gelingt nur um den Preis wesentlich höherer Stromdichten in oberflächlicher liegenden Schichten.

Nun wurden zu den Berechnungen Annahmen getroffen, die die wirkliche Situation vereinfachen. So ist der verwendete Gewebemodellkörper im Gegensatz zum wirklichen Gehirn quaderförmig und bezüglich seiner elektrischen Leitfähigkeit als homogen angenommen. Um die Bedeutung der gewonnenen Aussagen für die wahren Verhältnisse abschätzen zu können, sind Arbeiten im Gange, durch die Leitfähigkeit und Stromverlauf im Hundehirn gemessen werden sollen. In Tierversuchen hat man festgestellt, dass kortikale Einzelreize, die zu Bewegungseffekten führen, hochfrequente Impulssalven im Gehirn induzieren [25]. Diese repetitiven Entladungen werden auf bestimmte Nervenzellen des Rückenmarks, auf Alpha-Motoneurone, projiziert. Man nimmt an, dass die Alpha-Motoneurone einen hohen Summationsbedarf an erregenden Einflüssen haben,

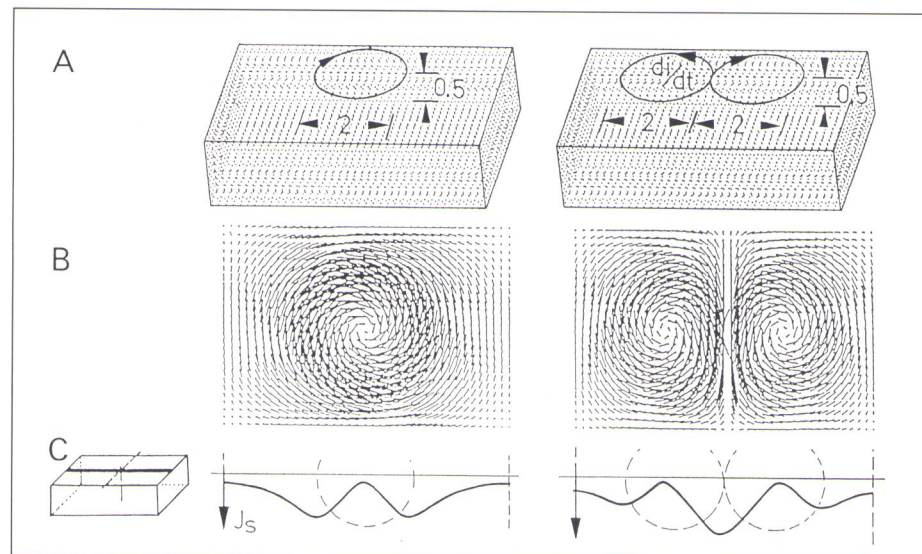


Abb. 3: A zeigt das quaderförmige Gewebemodell, darüber links eine einfache Ringspule, rechts eine Doppelspule mit gleichem Durchmesser. Der Spulenabstand zum Modellkörper beträgt $\frac{1}{2}$ Spulenradius. B stellt die induzierten Wirbelströme in der obersten Körperschicht dar. C gibt die Wirbelstromdichte entlang der markierten Achse an der Oberfläche des Modellkörpers wieder.

um selbst zur Entladung gebracht zu werden. Ob die Entladungsschwelle der Alpha-Motoneurone erreicht wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab [26]:

- von ihrer morphologischen Eigenschaft und vom momentanen Erregungszustand;
- von momentan einwirkenden Synapsen, was man als örtliche Summation bezeichnet;
- von der zeitlichen Summation, die oben erörtert wurde.

Über die physiologischen Effekte der Magnetstimulation bestehen noch viele Unklarheiten. In einer Gemeinschaftsarbeit mit dem Zoophysologischen Institut der Universität Bern werden zur Zeit Experimente durchgeführt, die diesbezüglich weiterbringen sollen.

Tierversuche und wissenschaftlicher Fortschritt

Wer Untersuchungen an Tieren vornimmt, also Tierversuche macht, kommt nicht darum herum, sich mit den Bedürfnissen des Tiers und mit Fragen des Tierschutzes auseinanderzusetzen. Es war der Arbeitsgruppe in Zürich stets ein selbstverständliches Anliegen, gegen die Ansprüche der Tiere nicht zu verstossen. Zweifellos verdanken wir in der medizinisch-biologischen Forschung den Versuchstieren sehr viel, was uns ihnen gegenüber allein schon verpflichtet. Eine wachsende Zahl von Menschen lehnt heute Tierversuche grundsätzlich ab. Verschiedene Gründe mögen dazu beigetragen haben. Sicher sind am «Tiermodell» gewonnene Resultate in ihrer Bedeutung für die Humanmedizin manch-

mal überschätzt worden. Oft sind auch quälerische Versuche «grosszügig» – also nicht mit der zu fordernden Umsicht geplant – und «mit leichter Hand» durchgeführt worden. Schliesslich hat man der Haltungsfrage lange nicht die nötige Beachtung geschenkt. Tierschutz, wie er sich in der Fassung der aktuellen eidgenössischen Initiative präsentiert, würde aber praktisch einem Verbot des Tierversuchs gleichkommen. Die Forderung nach einem solchen Verbot, oft verbunden mit dem Hinweis, man könne als Alternative etwa auf «Gewebekulturen» ausweichen, darf nicht unwidersprochen bleiben. Wie erwähnt, sind aus der Zürcher Gruppe mehrere Arbeiten mit Tierschutzzielen entstanden, nämlich über

- tiergerechte Haltung und
- Linderung von Angst und Schmerz vor der Schlachtung von Nutztieren.

Es sei auch darauf hingewiesen, dass die meisten der vorgestellten neurophysiologischen Untersuchungen – eine Ausnahme bildet die Magnetstimulation, die völlig schmerzfrei ist und nur kurze Zeit dauert – an narkotisierten Tieren durchgeführt werden. Dabei ist der Gedanke wegleitend, die Tiere sowenig wie möglich zu belasten. Obwohl die einzelnen Verfahren nicht oder unerheblich schmerzhaft sind – man führt sie in der Humanmedizin am wachen Patienten durch –, drängt sich aus tierschützerischen Überlegungen eine Narkose auf, da bei den oft langen Untersuchungszeiten Zwangsmassnahmen nötig wären, unter denen die Tiere zu leiden hätten. Die medizinische biologische Forschung wird auch in Zukunft ohne Tierversuche nicht auskommen. Auch die eigenen Ar-

beiten der Zürcher Forscher, deren Resultate dem Tier zugute kommen, wären ohne Tierversuche nicht denkbar. Daher gibt es Tierversuche, die notwendig, nützlich und nicht zu umgehen sind. Bedeutsam scheint allerdings, dass man sich mit diesen Problemen ernsthaft auseinandersetzt. Dazu gehörten jedoch mehr Verständnis in Öffentlichkeit und Politik für die Anliegen auf seiten der Wissenschaftler und die Bereitschaft, sich deren Argumente anzuhören. Bei der Suche nach vertretbaren Methoden ist das Potential, Schmerz und Angst beim Tier zu vermindern oder zu vermeiden, gewiss nicht ausgeschöpft. Weiter verbessern liesse sich einmal die Haltung der Tiere, wobei es oft mit materiellen Einrichtungen allein nicht getan ist, da auch Ansprüche des sozialen Kontakts befriedigt sein wollen. Es gibt nicht Tiere als Begleiter und Versuchstiere. Das heisst, man muss speziesabhängigen Verhaltensbedürfnissen gerecht werden — was selbstverständlich die Kenntnis dieser Bedürfnisse voraussetzt. Dann muss die Anzahl der Versuche und der Versuchstiere auf das Notwendige begrenzt werden. Zudem müssen die Eingriffe am Tier möglichst schonend sein und, wo dies nicht möglich ist, der Anästhesie und der Analgesie, das heisst der Schmerzfürsorge während des Eingriffs und der Schmerzbekämpfung danach, die nötige Beachtung geschenkt werden. Bestimmt liesse sich noch mehr gewinnen aus den Versuchen der Natur, das heisst durch systematischere Ausschöpfung des Materials in der Pathologie.

Möglichkeiten, den Tierversuch *ganz* zu umgehen, haben dagegen wohl nicht die Bedeutung, wie extreme Gegner glauben machen wollen. Tierschutzgesetze können zwar einen Rahmen für die notwendigen Tierversuche liefern, für eine Verbesserung viel wichtiger sind aber Einstellung und Haltung des Wissenschaftlers und sein Verständnis für die Belange des Tiers, die durch keine bürokratischen Massnahmen ersetzt werden können.

Der Forscher im Team

Die Beschäftigung mit neurophysiologischen Fragestellungen hat der Zürcher Arbeitsgruppe wertvolles zusätzliches diagnostisches Werkzeug geliefert, und die erhaltenen Aufträge brachten die Möglichkeit, wissenschaftlich tätig zu sein. An den vielbeschworenen, stets unruhigen «menschlichen Forschergeist» als Antrieb sollte man dabei allerdings nicht so sehr glauben, mag er auch für einzelne von Bedeutung sein. Unter den vielfältigen Motiven, wissenschaftlich zu arbeiten — wie Neugierde, Interesse, Ehrgeiz, Anerkennung, beruflicher Erfolg — ist es vor allem *Freude*, die die Beschäftigung mit irgendeinem Fach mit

zunehmendem Wissen und Verständnis stets mit sich bringt; sie ist auch die Dimension, die die Lust am Weitermachen bewirkt, ist eigentlich «the human side of research».

Erfolgreiche wissenschaftliche Tätigkeit geschieht in der Gruppe, und sie ist stark auf die Verbundenheit der einzelnen Mitglieder angewiesen. Vom Einzelkämpfertum ist wenig zu halten. Das «publizistische Dasein» — das ist der Publikumszwang und die Flut an Veröffentlichungen — erschwert auch auf verhältnismässig kleinen Gebieten den Überblick und birgt die Gefahr zu Oberflächlichkeiten und Retouche, weshalb denn auch methodische Schwierigkeiten und schwer interpretierbare Resultate in Veröffentlichungen häufig fehlen. Nur Öffnungen nach aussen, hauptsächlich gemeinsame Projekte mit anderen Gruppen bringen — so problematisch sie oft sind — fachlich und gedanklich Neues und zudem ein kritisches Element, das vielleicht vor Selbstüberschätzung bewahrt, manchmal Doppelarbeiten und unnötige Erfindungen verhindert und hoffentlich stets davor schützt, dass es einem geht wie dem Mann in Kusenbergs Erzählung «Nihilit», der einen neuen Klebstoff erfunden hatte, mit dem man nichts kleben konnte, wenigstens nichts Bekanntes [27].

Literatur

- [1] *Ackerknecht, E. (1989):* Geschichte der Medizin; 6. Auflage, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- [2] *Huxley, A. (1980):* Reflections on Muscle; Liverpool University Press
- [3] *Frauchiger, E. (1951):* Den Manen eines Grossen unserer Wissenschaft: Prof. Hermann Dextler (1866–1931); Schweiz. Arch. Tierheilk. 93, 359–364
- [4] *Dextler, H. (1899):* Die Nervenkrankheiten des Pferdes; F. Deuticke, Leipzig und Wien
- [5] *Fankhauser, R., Vandevelde, H. (1986):* Neurologie in der Tiermedizin — Hobby oder Notwendigkeit? SWISS VET 3, Nr.4, 7–11
- [6] *Fankhauser, R. (1975):* Nachruf auf Prof. Dr. med. Ernst Frauchiger, Bern; Schweiz. Arch. Tierheilk. 117, 355
- [7] *Fankhauser, R. (1981):* Nachruf auf Prof. Dr. Walter Hofmann, Bern; Schweiz. Arch. Tierheilk. 123, 607–610
- [8] *Frauchiger, E., Hofmann, W. (1941):* Die Nervenkrankheiten des Rindes; Medizinischer Verlag Hans Huber, Bern
- [9] *Frauchiger, E., Fankhauser, R. (1957):* Vergleichende Neuropathologie des Menschen und der Tiere; Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg
- [10] *Innes, J. R. M., Saunders, L. Z. (1962):* Comparative Neuropathologie; Academic Press, New York und London
- [11] *Fricker, Ch. (1974):* Die elektrische Betäubung von Hühnern vor dem Schlachten mit Wechselstrom von 50 Hz; Dissertation, Vet.-Med. Fakultät, Universität Zürich
- [12] *Cantieni, J. (1977):* Ein Beitrag zur CO₂-Betäubung von Schlachtschweinen; Schweiz. Arch. Tierheilk. 119, 355–375
- [13] *Kündig, H. (1977):* Telemetrische Ermittlung der Herzschlagfrequenz beim Huhn während des Legeaktes; Dissertation, Vet.-med. Fakultät, Universität Zürich
- [14] *Müller, H. R. (1981):* Der Einfluss der elektrischen Betäubung auf die Herzaktivität und deren Bedeutung für den Ausblutungsgrad bei Schlachtgeflügel; Dissertation, Vet.-Med. Fakultät, Universität Zürich
- [15] *Fauquex, E. (1982):* Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen des Pferdes im Bereich der Sattellage in Abhängigkeit von der Körperhaltung und der Bewegung; Dissertation, Vet.-Med. Fakultät, Universität Zürich
- [16] *Hugelshofer, J. (1982):* Vergleichende Kraft und Belastungszeit-Messungen an den Vorderhufen von gesunden und an Podotrochlose erkrankten Pferden; Dissertation, Vet.-Med. Fakultät, Universität Zürich
- [17] *Bein, L. P. J. (1984):* Prüfung eines elastischen Pferdehufbeschlages mit Hilfe ungulographischer Untersuchungen im Vergleich zum Eisenbeschlag; Dissertation Vet.-Med. Fakultät, Universität Zürich
- [18] *Ludin, H. P., Heckmann, R. (1979):* Discrimination of spontaneous activity from denervated and normal skeletal muscle; Acta Neurol. Scand. Suppl. 73, 60, 86
- [19] *Heckmann, R., Oettli, P., Senn, E., Wiestner, Th., Wyss, O.A.M. (1979):* Single fibre activity in human muscle during transverse flow of middle-frequency alternating current; Acta Neurol. Scand. Suppl. 73, 60, 146
- [20] *Heckmann, R., Ludin, H. P. (1982):* Differentiation of spontaneous activity from normal and denervated skeletal muscle; J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 45, 331–336
- [21] *Rösler, K. M., Hess, C. W., Heckmann, R., Ludin, H. P. (1989):* Significance of shape and size of the stimulating coil in magnetic stimulation of the human motor cortex; Neuroscience letters, 100, 347–352
- [22] *Heckmann, R., Hess, C. W., Hogg, H. P., Ludin, H. P., Wiestner, Th. (1989):* Transkranielle Magnetstimulation des motorischen Kortex und perkutane Magnetstimulation peripher nervöser Strukturen beim Hund; Schweiz. Arch. Tierheilk. 131, 341–350
- [23] *Barker, A. T., Freeston, I. L., Jalinous, R., Merton, P. A., Morton, H. B. (1985):* Magnetic stimulation of the human brain; I. Physiol. 369, 3 P.
- [24] *Morton, P. A., Morton, H. B. (1980):* Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject; Nature, 285, 227
- [25] *Patton, H. D., Amassian, V. E. (1954):* Single- and multiple-unit analysis of cortical stage of pyramidal tract activation; J. Neurophysiol. 17, 345–363
- [26] *Hess, Ch. W. (1987):* Die transkranielle Stimulation des motorischen Kortex mit Magnetfeldpulsen; Habilitationsschrift, Med. Fakultät, Universität Bern
- [27] *Kusenberg, K. (1983):* Mal was Andres, Rowohlt Verlag, Hamburg